

点群データに基づく C1 連続円弧群への当てはめ方法に関する研究

函館高専 ○熊谷卓也、近藤 司
 日本大学 白井健二、小林義和

要旨

自由曲面のプレス板金金型の製作において、そのせん断部分は自由曲線となっている。自由曲線の加工はまだ点群近似による直線補間により NC 加工されており、その非効率化が指摘されている。本研究では、点群で構成されている自由曲線を必要精度で C1 連続を保証する円弧群へ当てはめる手法を検討した。当てはめ手法は最小二乗法を採用し、当てはめに用いるサンプル点の選択手法を、事例を用いてその成功例と失敗例の傾向から経験則を探した。

1. 緒論

金型加工に使われている NC 工作機械のほとんどは直線と円弧補間機能を有している。そのため自由曲線を加工形状とする場合は、曲線を折れ線近似し、オフセット点計算、直線補間による工具経路が生成される。この場合、①折れ点においてコーナオフセット処理または工具干渉処理が必要となる (図 1-a)。②工具が微小な直線移動となり NC 工作機械の適正な速度制御が機能しない、などの問題がある。この自由曲線を必要精度で円弧近似することができれば、③オフセット線は円弧の半径値を変えるだけで求められる (図 1-b)。④通過点数を削減でき移動距離を長くなるため速度制御が可能となる、などの利点がある¹⁾²⁾。

本研究では C2 連続な自由曲線を基に生成した点群から C1 連続を保証する円弧群を生成する手法の考案を試みる。そのために、円弧の当てはめに用いる点群の選択法に着目し、成功例と失敗例からその有効な手法を検証する。

2. C1 連続円弧当てはめの問題点

図 2 に C2 連続な自由曲線を基に生成した点群から C1 連続を満足する円弧を当てはめにおける問題点を示した。当てはめ精度を保証するトランスを制約条件としてサンプル点を基に当てはめを行う。そのため、ケース 1 と 2 によりサンプル点 (およびその数) により当てはまる円弧およびその数も異なる。当てはめ円弧の総数を少なくするように当てはめると、すなわち円弧長を長くするようにサンプル点数を多くして当てはめると、それと隣接する円弧の当てはめ精度が落ちて失敗するが発生する (ケース 3)。すなわち、点群全体に渡って C1 連続を満足する円弧当てはめを行うためには、自由曲線全体の形状を考慮してサンプル点を選択する、または妥当なルールに従ってサンプル点を選択する必要がある。

3. 点群データに基づく C1 連続円弧群への当てはめ方法

本研究において、点群を C1 連続円弧の当てはめ方法として式 1)~3)を用いて作成した最小二乗法を用いる。式 1)は円の方程式、2)は接続点(x0,y0)の制約条件、3)は接続点での C1 連続の制約条件である。式と記号の関係を図 3 に示す。

$$(x - C_x)^2 + (y - C_y)^2 = r^2 \quad 1)$$

$$(x_0 - C_x)^2 + (y_0 - C_y)^2 = r^2 \quad 2)$$

$$C_x = a(x_0 - C_{x0}) + C_{x0}, \quad C_y = a(y_0 - C_{y0}) + C_{y0} \quad 3)$$

初めの円弧は通過点 (例えばサンプル点) と式 1) と 2) を展開し、中心点を最小二乗法により決定する。

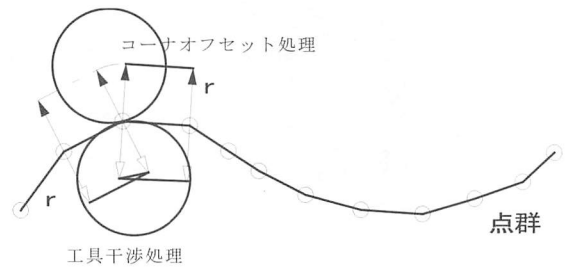


図1-a 折れ線データに基づく工具経路生成

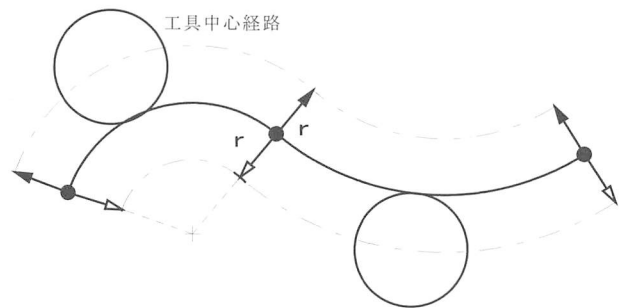


図1-b 円弧データに基づく工具経路生成

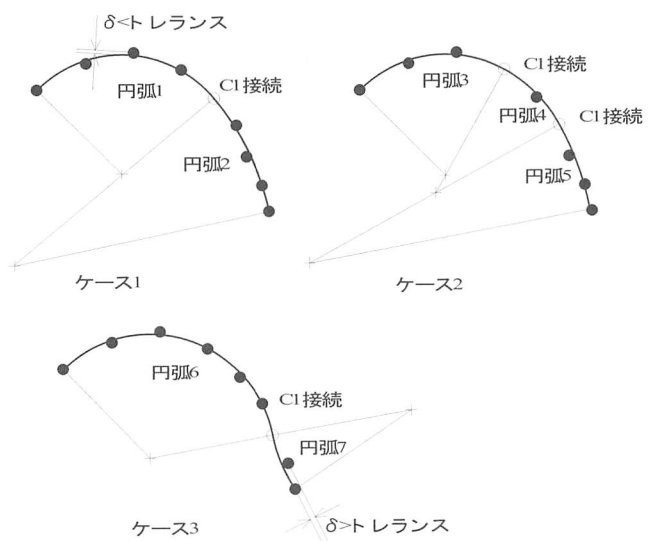


図2 点列の C1 連続円弧当てはめ

4. 当てはめ実験

本研究では、種々の曲率を持つ自由曲線を構成する点列（サンプル点）に対して、その点数を変化させ、3円弧までのC1連続の円弧を当てはめ実験を行う。その際、サンプル点との誤差を調べることで、サンプル点の選択に対して、その妥当性を検証する。トレランスは0.1mmに設定し、当てはめは1つの円弧に対して点数5～19点（15通り）で行い、検証実験は3円弧に対して合計3375（15×15×15）通りのサンプリング点の組合せを用いて行った（図4）。用いたサンプル点群とC1連続当てはめ結果の1例を図5に示した。

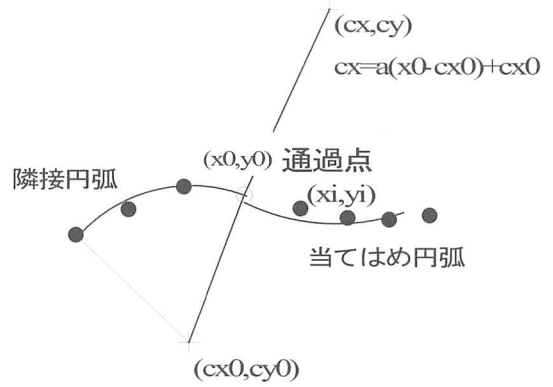


図3 2円弧のC1接続方法

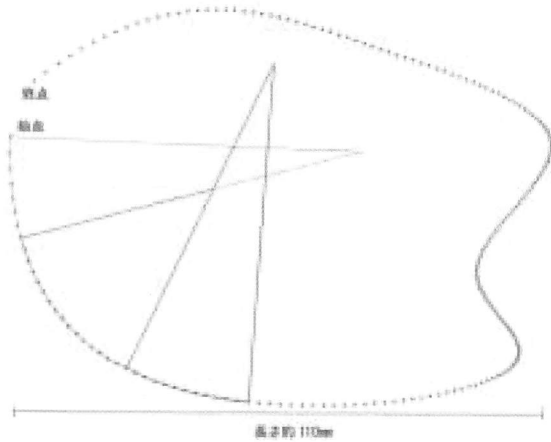


図5 実験に用いた点群と当てはめ円弧例

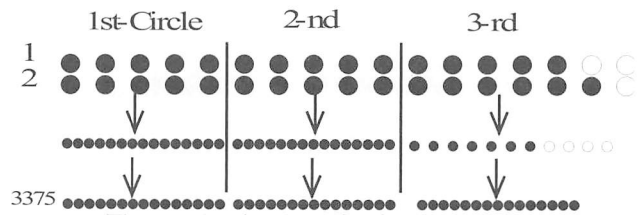


図4 3円弧とサンプル点の組合せ

5. 実験結果と考察

当てはめ実験の結果、①すべて（3つの）C1連続円弧を満足したのは82例、②初めの2つのみC1連続の場合が293例であった。それらの結果から当てはめに重要と思われる以下の点に着目した。図6はサンプル点における曲率半径と当てはめた円弧半径との比較を示したものである。当てはめがうまく行われている場合は、その曲率半径が比較的一致しており、値がサンプル点の曲率半径のほぼ平均となっている。他方ではその半径差が大きいと言える。図7、8はそれぞれ①と②の場合における、2つ目の円弧まで当てはめたサンプル点での誤差を示している。すなわち①はその後の当てはめが成功、②は失敗している場合において、選択されたサンプル点での誤差傾向である。この結果から、当てはめが成功している場合でも、終端点（接続点）近傍でトレランス値に近い誤差を持つ場合は、それ以降の当てはめがうまく行かない傾向にある。また、接続点近傍において誤差の増分が大きくなる場合もまた、以降の当てはめがうまく行かない傾向にある。当てはめが成功している場合は、誤差が少なく、接続点近傍でも誤差の変化率が少ないと言える。

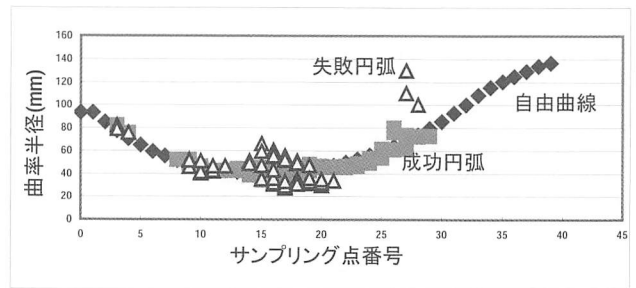


図6 曲率半径の比較

6. 結論

本研究では、C2連続な自由曲線上にある点群を基にC1連続円弧を当てはめる為に必要なサンプル点の選択方法に関して検討を行った。3つのC1連続円弧の当てはめ結果から、当てはめ円弧の曲率半径および当てはめ誤差、接続点での誤差の増分傾向が当てはめの良否に与えることを示した。通常当てはめは点群に対して順次なされていくと考え、サンプル点の選択と一つの基準となると考える。

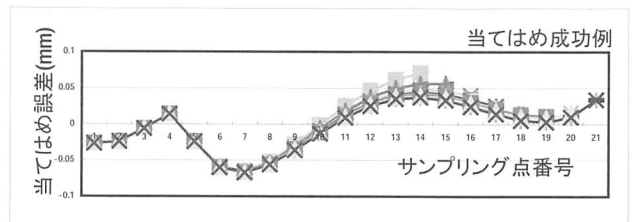


図7 当てはめ成功例の誤差分布

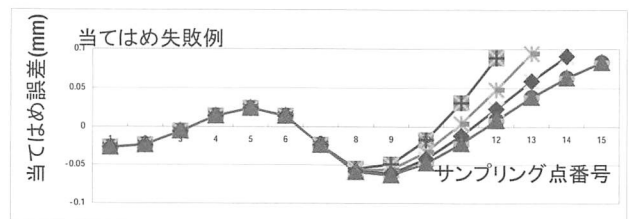


図8 当てはめ失敗例の誤差分布

参考文献

- 坂井昭二他：曲面加工用NCデータの圧縮に基づく従来NC工作機械の有効活用，精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集，p115-116(2004)
- 村田哲哉他：自由曲線の円弧・直線補間と工具経路算出に関する研究，精密工学会全国大会講演論文集(2009)